

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS – UNIS/MG
ENGENHARIA MECÂNICA
MARCOS PAIVA

ANÁLISE DE CONSTRUÇÃO E ATIVAÇÃO DE CALDEIRAS FLAMOTUBULAR
DE ACORDO COM A NR-13

Varginha
2020

MARCOS PAIVA

**ANÁLISE DE CONSTRUÇÃO E ATIVAÇÃO DE CALDEIRAS FLAMOTUBULAR
DE ACORDO COM A NR-13**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS – como pré-requisito para a obtenção do grau de bacharel sob orientação do Prof. Dr. Luiz Carlos Vieira Guedes.

Varginha

2020

MARCOS PAIVA

**ANÁLISE DE CONSTRUÇÃO E ATIVAÇÃO DE CALDEIRAS FLAMOTUBULAR
DE ACORDO COM A NR-13**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas, como pré-requisito para obtenção do grau de (bacharel ou licenciatura) pela banca examinadora composta pelos membros:

Aprovado em / /

Prof.

Prof.

Prof.

OBS.:

Dedico este trabalho a todos aqueles que
contribuíram para a sua realização.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, aos meus professores, colegas, familiares e amigos por terem ajudado na construção deste trabalho.

“O sucesso é ir de fracasso em fracasso sem
perder o entusiasmo”
Winston Churchill

RESUMO

O presente trabalho visa identificar e analisar os fatores de risco na fabricação e ativação de caldeiras flamotubulares da empresa MML caldeiras, com erros envolvendo o não cumprimento da norma regulamentadora (NR-13) de operação de caldeiras e vaso de pressão. Caldeira é o nome dado aos equipamentos geradores de vapor e água quente, sua aplicação tem sido ampla em vários setores como indústrias, laticínios, hoteleiras e malharias e sua atividade no cenário brasileiro hoje é muito grande, com a chegada de grandes indústrias alimentícias que necessitam de vapor para o seu funcionamento, em particular, vapor de água pela sua abundância, esse vapor que é utilizado em processos industriais dos mais variados tipos. Dentro deste conceito, a NR-13 é a norma responsável por regulamentar as caldeiras e vasos de pressão, com isso, foi feita uma análise completa da norma regulamentadora para que seja aplicada e seguida pela empresa que possui em sua linha de produção o processo de gerador de vapor.

Palavras-chaves: Fabricação. Análise. Inicialização. Caldeira.

ABSTRACT

The present work had the objective of identifying and analyzing the risk factors in the manufacture and activation of flamotubular boilers of the company MML boilers, with errors involving the non-compliance with the regulatory standard (NR-13) for boiler and pressure vessel operation. Boiler is the name given to steam generating equipment. Its application has been wide in several sectors such as industries, dairy, hotels and knitwear and its activity in the Brazilian scenario today is very large, with the arrival of large food industries that provide steam for its operation, in particular; water vapor through its abundance, that steam that is used in industrial processes of the most varied types. Within this concept, the NR-13 is responsible for regulating the boilers and pressure vessels, with this, a complete analysis of the regulatory standard was made so that it is applied and followed by the company that has in its line the process of generator of steam.

Keywords: *Manufacturing. Analyze. Initialization. Boilers*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 – Caldeira Flamotubular com duas passagens de gases.....	16
Figura 02 – Representação ilustrada de uma caldeira vertical.....	17
Figura 03 – Representação ilustrada de uma caldeira horizontal.....	18
Figura 04 – Ordem de serviço.....	23
Figura 05 – Croqui da ordem de serviço.....	24
Figura 06 – Tartaruga de corte da chapa do costado.....	25
Figura 07 – Processo de calandragem da chapa.....	25
Figura 08 – Instalação da fornalha e espelho.....	26
Figura 09 – Soldagens das peças instaladas.....	26
Figura 10 – Instalação dos tubos.....	27
Figura 11 – Caldeira após a fabricação.....	28
Figura 12 – Teste hidrostático da caldeira flamotubular.....	29
Figura 13 – Vazamentos presentes no tubo.....	30
Figura 14 – Acionamento da válvula de segurança.....	31

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- BPF – Baixo Ponto de Fluidez.
- CLT – Consolidação das Leis do Trabalho.
- GLP – Gás Liquefeito de Petróleo.
- MTE – Ministério do trabalho e emprego.
- NR-13 – Norma Regulamentadora 13.
- PH – Profissional Habilitado.
- PMTA – Pressão Máxima de Trabalho Admissível.
- SIS – Sistema Instrumentado de Segurança.
- SGC – Sistema de Gerenciamento de Combustão.
- SSST – Secretaria de Segurança e Saúde no Trabalho.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1. Caldeiras.....	14
2.1.1. Caldeiras Flamotubulares	15
2.1.2. Caldeiras verticais.....	17
2.1.3. Caldeiras horizontais	18
2.2. Regimento de caldeiras segundo a NR-13	19
2.2.1. Início da inspeção	19
2.2.2. Inspeção de segurança externa	19
2.2.3. Inspeção de segurança interna	19
2.2.4. Teste Hidrostático.....	20
2.2.5. Inspeções de segurança periódica.....	20
2.2.6. Inspeções de segurança extraordinária	21
3 METODOLOGIA.....	23
3.1. Inicialização do processo de fabricação	23
3.2. Execução do Teste Hidrostático	28
3.3. Inicialização da Caldeira	30
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	32
5 CONCLUSÃO.....	33
REFERÊNCIAS	34

1 INTRODUÇÃO

Com o desenvolvimento das indústrias brasileiras que utilizam o vapor gerado por caldeiras e vasos de pressão para a geração de energia e para seu próprio consumo, nos mostra a necessidade que os vasos de pressão tem para se adequarem às suas normas regulamentadoras, no caso para caldeiras e vasos de pressão é a norma regida pela Consolidação das Leis do Trabalho (CLT).

A norma regulamentadora 13 (NR-13) é uma norma criada pelo Ministério do Trabalho e Emprego do Brasil, e tem como objetivo condicionar a operação de vasos de pressão e caldeiras. Ela foi criada em 8 de junho de 1978, sofrendo sua primeira revisão em 8 de maio de 1984, e sua última revisão até este presente trabalho em 30 de julho de 2019 onde foi retirada a categoria C da norma (BRASIL, 2019)

Um manual técnico sobre a NR-13 foi elaborado pelo Grupo Técnico Tripartite, em 1996, composto por técnicos, a convite da Secretaria de Segurança e Saúde no Trabalho (SSST). Do Ministério do Trabalho e Emprego (MTE).

Com o aumento de produção nas empresas alimentícias e laticínios, as caldeiras são de papel fundamental para a produção buscando a eficiência e o baixo custo na produção de vapor, para isso, é necessário um conhecimento sobre a norma que rege esses equipamentos a fim de compreender as seguranças necessárias para a fabricação e a operação.

Para buscar um baixo custo de produção de vapor e visando também o baixo custo na fabricação do equipamento, a caldeira flamotubular é a mais indicada para a empresa em questão. As caldeiras flamotubulares são de fabricação simples e trabalham com pressões mais baixas, o que é eficiente para as indústrias que buscam em suas linhas de produção uma eficiência elevada de vapor com um baixo custo (ALTAFANI, 2002).

O presente trabalho teve como o objetivo principal a análise de construção e ativação de caldeiras flamotubulares de acordo com a NR-13. As principais técnicas de pesquisas que foi utilizada consistem na leitura e análise de diversos autores a fim de fundamentar a temática escolhida e permitir alcançar conclusões satisfatórias e que seja capaz de compreender as exigências pertinentes da norma.

Para desenvolver uma análise de fabricação e ativação de caldeiras deve-se seguir o relatório de inspeção de acordo com a classificação da indústria em foco, no caso deste trabalho, o foco está na indústria de fabricação, identificando na sua linha de produção uma caldeira flamotubular. Para isso é detalhado na sequência em tópicos o que são caldeiras, o que é a

caldeira flamotubular, às inspeções de segurança, fabricação, teste hidrostático e inicialização de caldeiras dentro da sua norma regulamentadora (NR-13).

Segundo a NR-13 as caldeiras e vasos de pressão devem sempre ser submetidos a inspeções de segurança, inicial, periódica e extraordinária (BRASIL,2019).

Considera-se PH (Profissional Habilitado) aquele que exerce a profissão de engenheiro nas atividades referentes ao projeto de construção, acompanhamento da operação e da manutenção, inspeção e supervisão de inspeção das caldeiras conforme a NR-13 (BRASIL,2019).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Para compreender o desenvolvimento das caldeiras, deve-se saber a origem e os fatores históricos que levaram a aplicação e a normatização.

2.1. Caldeiras

As primeiras tentativas do homem em produzir vapor ocorrem com Heron de Alexandria no século II, a.C., que desenvolveu um equipamento que vaporiza a água e movimenta uma esfera em torno de seu eixo, surgindo então o primeiro modelo conhecido, embora seja primitivo, era o primeiro modelo de gerador de vapor. Mas somente na revolução industrial que o uso de vapor pressurizado e saturado para movimentar máquinas e equipamentos apareceu com grande repercussão (ALTAFINI,2002).

Com os surgimentos de equipamentos para a geração de vapor no início do século XVIII, que foi promovida pela necessidade de encontrar algumas alternativas na geração de calor que pudesse substituir a queima direta de carvão fóssil que era muito utilizado na época. Nos dias de hoje, a acomodação e a versatilidade de sua utilização para produção de vapor são indispensáveis em vários setores industriais, como laticínios e indústrias alimentícias.

De acordo com Leite e Miltão, 2008, p.01 a caldeira ou gerador de vapor é um equipamento que tem como objetivo de gerar vapor através de uma troca de calor entre o combustível e a água. Isto é feito por esse equipamento construído com chapas e tubos cuja a função é fazer com que a água se aqueça e passe do estado líquido para o gasoso, e assim aproveitando do calor liberado por essa queima de combustível que faz com que as partes metálicas se esquentam e transfiram altos níveis de calor para a água e produzindo vapor em alta pressão. Neste processo, a energia que será necessária para a operação, ou seja, o fornecimento de calor sensível para água até alcançar a temperatura de ebulição, mais o calor presente para a fim de realizar a vaporização da água e mais o calor para o superaquecimento para transformá-la em vapor superaquecido, pode ser obtida pela queima de um combustível, seja sólido ou líquido.

Segundo Pera, 1990, caldeira é um trocador de calor complexo que produz a partir de energia térmica ar e fluido vaporizante, constituído por diversos equipamentos associados, perfeitamente integrados para permitir a obtenção do maior rendimento térmico possível.

Essas definições de caldeiras são aplicadas a todas caldeiras conhecidas, sejam as que vaporizam a água, mercúrio ou fluidos de alta temperatura como as mais simples caldeiras ou equipamentos de geradores de vapores existentes.

Pera, 1990, também diz que as fontes produtoras de vapor nem sempre são combustíveis, mas sim, aproveitadores de calor residuais de processos industriais, escapes de motores em geral ou de turbinas a gás. Esses aproveitadores podem também ser conhecidos como caldeiras de recuperação.

No geral, caldeira geradora de vapor é constituída por um vaso fechado com pressão, com tubos que podem conter água ou gases quentes provenientes da combustão, que com a aplicação de calor se transforma em vapor.

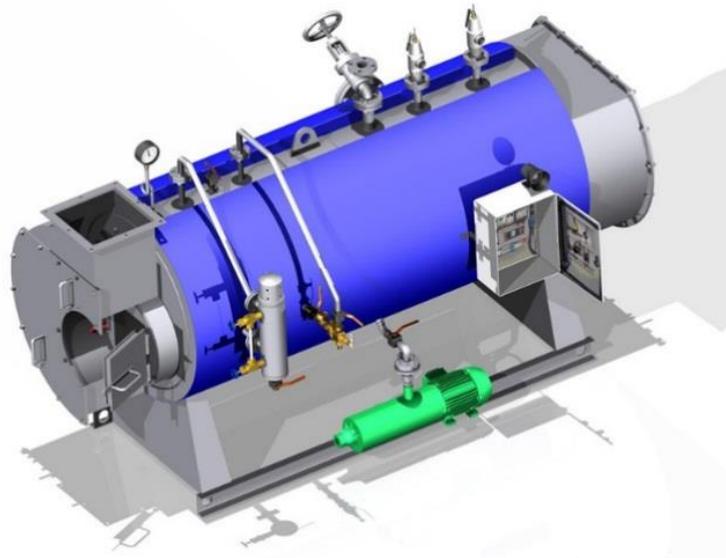
2.1.1. Caldeiras Flamotubulares

As caldeiras flamotubulares são equipamento de construção simples e de baixo custo, segundo (ALTAFANI, 2002), as caldeiras flamotubulares tem a operação pela circulação interna dos gases de combustão, os tubos conduzem os gases por todo o interior da caldeira circundada por água. As caldeiras flamotubulares são operadas com pressões limitadas, já que as áreas internas não necessitam ser empregadas por chapas grossas.

A queima de gases feita no interior da caldeira são completas devido a dimensões das chapas do cilindro que permite que os gases fluem quentes para as demais passagens. Por elas serem mais compactas que as demais, pode-se dizer que elas já saem prontas da fábrica para a instalação no local de operação.

Segundo Bizzo, 2001, p. 68, as caldeiras flamotubulares pela grande maioria é utilizada em pequenas capacidades de produção de vapor variando de 6 bar até 20 bares de pressão. As caldeiras flamotubulares horizontais são constituídas de um vaso de pressão com um cilindro horizontal, com dois tampos planos (mais conhecidos como espelho) onde há tubos fixos e mandrilados no interior do cilindro. As caldeiras podem ter diversos passes de gases, mas as mais comumente utilizadas são as que apresentam dois passes de gases e uma fornalha. Abaixo segue a ilustração de uma caldeira Flamotubular da marca MML caldeiras.

Figura 01: Caldeira Flamotubular com duas passagens de gases



Fonte: (MMLCALDEIRAS, 2014)

As caldeiras flamotubulares podem ser classificadas por vários métodos, que são as seguintes:

- a) Pelo uso;
- b) A capacidade;
- c) Pressão;
- d) Posição que se encontram a fornalha;
- e) As posições que se encontram os tubos;
- f) As dimensões da caldeira;
- g) Por ser vertical ou horizontal;

Segundo a NR-13 (BRASIL,2019), as caldeiras são classificadas por categorias A e B. As caldeiras de categoria A são caldeiras que apresentam pressão de trabalho igual ou superior a 19,6 bar. Estas caldeiras são mais caras por apresentarem estruturas mais complexas e chapas mais grossas. As caldeiras de categoria B são caldeiras que apresentam pressão de trabalho entre 0,6 bar a 19,6 bar de pressão com o volume interno superior a 100 l (cem litros) e o produto entre a pressão de operação em Kpa e o volume interno em m³ seja superior a 6. Com base na NR-13, a categoria B se enquadra nas caldeiras produzidas na indústria MML Caldeiras.

Caldeiras de categoria B, são as mais comumente utilizadas e fabricadas por apresentarem custo baixo, manutenção e fabricação simples. Podem ser utilizadas em médias e

pequenas empresas, dependendo da utilização da quantidade de vapor. Com a atualização da NR-13 em 2019, a categoria C foi retirada da norma e incluída na categoria B.

2.1.2. Caldeiras verticais.

Para Martinelli Jr, 2002, p. 23, as caldeiras verticais são um tipo de monobloco, sendo constituída por um corpo cilíndrico fechado nas extremidades por placas planas que são mais conhecidas como espelhos. As caldeiras verticais apresentam uma baixa capacidade e baixo rendimento térmico. Geralmente são equipamentos de pequeno porte, construídas com 2 m² até 30 m², com uma pressão máxima de trabalho de 10 (kgf/cm²) e tendo uma capacidade de 15 kg a 16 kg de vapor por m² presente na superfície de aquecimento, são mais utilizadas para combustíveis com baixo poder calorífico. As caldeiras verticais apresentam a vantagem de possuir seu interior bastante acessível para limpezas e manutenções e fornecendo um rendimento maior no tipo de fornalha interna, a sua aplicação pode ser bem variada, devido à facilidade do transporte e por apresentar um tamanho de corpo menor do que as demais e assim exigindo menos estruturas para serem instaladas. Abaixo uma representação ilustrada de uma caldeira vertical.

Figura 02: Representação ilustrada de uma caldeira vertical.



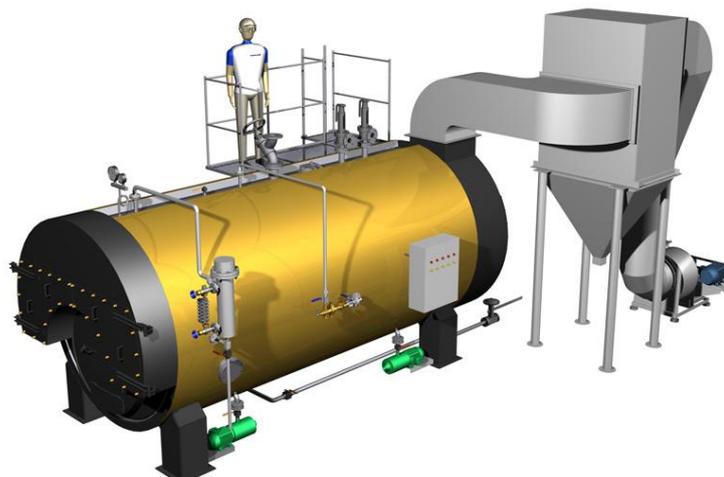
Fonte: (MMLCALDEIRAS, 2014)

A figura 02 representa uma caldeira vertical, compacta que apresenta duas passagens de gases combustos, toda preenchida por água, fabricadas com chapas e tubos de aço carbono. Essa caldeira pode gerar entre 100 a 600 Kgv/h (MMLCALDEIRAS, 2014).

2.1.3. Caldeiras horizontais

De acordo com Martinelli, 2002, as caldeiras de configuração horizontal podem ser caracterizadas por tubos que são colocados horizontalmente num corpo cilíndrico e fechadas nas extremidades por placas de aço carbono, ou espelhos, onde a fornalha interna fica no próprio corpo do cilindro, logo abaixo dos espelhos inferiores. Os gases de combustão sobem através dos tubos mandrilados e aquecendo-o, vaporizando a água que se encontra nos níveis dos tubos. Abaixo segue uma ilustração de uma caldeira horizontal.

Figura 03: Representação ilustrada de uma caldeira horizontal



Fonte: (MMLCALDEIRAS, 2014)

A figura 03 mostra uma representação ilustrada de uma caldeira vertical de fabricação MML caldeiras, com 3 passagens de gases combustos e ativada com combustíveis sólidos, podem gerar de 400 a 2500 Kgv/h (MMLcaldeiras, 2014).

2.2. Regimento de caldeiras segundo a NR-13

Para uma análise de fabricação e ativação de caldeiras e vasos de pressão, foi realizado uma leitura bibliográfica da NR-13, compreendendo todos os requisitos necessários para essa análise.

2.2.1. Início da inspeção

De acordo com a norma regulamentadora a inspeção de segurança inicial deve ser feita em vasos novos, antes mesmo da sua entrada em funcionamento, no local definitivo da sua instalação, que no caso deve ser feita em local apropriado, geralmente instaladas em casas de caldeiras, também devem compreender o exame interno, teste de estanqueidade e exame externo (BRASIL,2019).

É obrigatório a caldeira ser submetida a Teste Hidrostático em sua fase de fabricação e apresentar comprovação por meio de laudo assinado pelo profissional habilitado. É necessário ter o valor da pressão de teste afixado em sua placa de identificação (BRASIL,2019).

2.2.2. Inspeção de segurança externa

Segundo Cabral, 2015, toda inspeção externa de uma caldeira deve ser feita visualmente por um PH, checando todos os seus equipamentos de segurança presente na caldeira, como as válvulas de segurança, instrumentos de medição de pressão, temperatura conforme identificados em sua placa de fabricação e de acordo com a NR-13.

2.2.3. Inspeção de segurança interna

A inspeção interna feita em caldeiras depende muito dos tipos dos equipamentos. O presente trabalho está focado em uma caldeira flamotubular que apresenta janelas externas para a verificação dos seus componentes internos. Deve ser analisado visualmente os tubos internos presentes na caldeira que possam apresentar danos mecânicos como corrosão, trincas, coletores e entre outros. Os coletores presentes nas caldeiras devem ser analisados anualmente (BRASIL,2019).

Entre as técnicas de inspeção existentes e utilizadas para a inspeção de segurança interna em caldeiras, geralmente é recomendado a técnica de ensaios não destrutivos. Esses ensaios são

testes feitos para o controle da qualidade realizados sobre as peças, para a detecção de possíveis falhas de homogeneidade ou defeitos presente na caldeira, sem prejudicar a utilização dos produtos inspecionados (CABRAL, 2015).

2.2.4. Teste Hidrostático

De acordo com Cabral, 2015, os testes são realizados para detectar possíveis falhas de vazamentos ou rupturas presentes em uma caldeira, esses testes são realizados com água ou ar comprimido ou até mesmo com algum outro fluido disponível, e é feito com 50% de pressão acima da PMTA (pressão máxima de trabalho admissível), e esses processos apresentam vantagens e desvantagens.

A vantagem é a importância que ela tem para confirmar se há vazamentos no corpo, confirma o estado de integridade e capacidade de resistir às condições de operações normais.

A desvantagem é a possibilidade de um crescimento crítico de descontinuidade e a perda do equipamento, seja na sua fabricação ou após ter iniciado a sua operação, a possibilidade de um aumento subcríticos de descontinuidades pelas regiões danificadas por mecanismos que causa danos a solicitações mecânicas muito superiores às operacionais normais, e com isso a redução das margens de segurança do equipamento, sem que isto seja percebido. Isso causa uma elevada relação de custo/benefício (BRASIL,2019).

2.2.5. Inspeções de segurança periódica

As inspeções periódicas das caldeiras devem seguir as recomendações que estão presente na norma regulamentadora e é constituída por exames internos e externos desde que tenham seus prazos máximos respeitados (BRASIL,2019).

Segundo a norma as caldeiras de categoria A e B devem ser inspecionadas a cada doze meses; para caldeira de recuperação de álcalis de qualquer categoria devem ser analisadas em quinze meses; para caldeiras que sejam testadas as pressões de abertura das válvulas de segurança em doze meses, a inspeção máxima ocorre em vinte e quatro meses.

A realização e as técnicas de inspeção devem ser definidas pelo PH, com base na norma NR-13. Os equipamentos, mesmo estando fora de operação, poderão sofrer desgastes corrosivos acentuados. É importante estabelecer que as caldeiras que não permitem o exame externo e interno devem sempre ser submetidas a teste hidrostático. A inspeção de segurança periódica sempre deve ser feita pela equipe de manutenção responsável ou por colaboradores.

Para fins de inspeção de segurança interna de caldeiras categoria A que atendam o subitem 13.4.4.6.2 da norma NR-13 podem ser feitas em um prazo máximo de quarenta e oito meses desde que disponham de uma barreira de proteção implementada por meio da SIS (Sistema Instrumentado de Segurança), o prazo estabelecido está de acordo com a atualização da norma em 18 de dezembro de 2018 (BRASIL,2019).

Segundo a norma regulamentadora, as inspeções de segurança interna de caldeiras de categoria B que trabalhe de forma contínua podem ser estendidas para um prazo máximo de trinta meses, se todas as condições do subitem 13.4.4.7 da NR-13 forem satisfeitas.

No subitem 13.4.4.7.2 da norma NR-13 diz que as novas caldeiras de categoria B que queimem combustíveis líquidos como o óleo BPF (Baixo Ponto de Fluidez) ou os gasosos como o gás GLP (Gás Liquefeito de Petróleo), devem dispor de um SGC (Sistema de Gerenciamento de Combustão). Esse sistema é definido no projeto pelo fabricante e garante a execução segura da sequência de acionamento e o bloqueio automático dos combustíveis presentes em casos de perda do controle de combustão ou da geração de vapor (BRASIL,2019).

No caso das queimas feitas com combustíveis sólidos (Lenha), as novas caldeiras também precisam de um SGC, mas diferente das outras caldeiras com queimas por combustíveis líquidos e gasosos, as caldeiras por combustão sólida necessitam definir no projeto pelo fabricante um sistema que garante um controle automático do nível de água e da geração de vapor.

Para um funcionamento seguro das caldeiras de categoria B, as válvulas de segurança devem ser testadas periodicamente. Em caldeiras que não apresentam sistema de tratamento de água, as válvulas devem ser testadas pelo menos uma vez por mês, mediante ao acionamento manual da alavanca de operação. Em caldeiras com água tratada a alavanca deve ser acionada manualmente quando apresentar condições anormais (BRASIL,2019).

2.2.6. Inspeções de segurança extraordinária

De acordo com Cabral, 2015, às inspeções de segurança extraordinárias devem ser realizadas quando ocorre alguma alteração ou danos causados na caldeira que possam comprometer sua segurança em condições de funcionamento.

No subitem 13.4.4.12 da NR-13 (BRASIL, 2019), diz que as inspeções de segurança extraordinárias devem ser feitas quando houver defeitos acidentais ou por algum outro fator que possa comprometer a segurança do equipamento; quando a caldeira for submetida a alterações de projetos ou por reparos importantes capaz de alterar a segurança do equipamento;

depois de seis meses que a caldeira está inativa e ser acionada e quando houver mudanças de local de operação da caldeira.

De acordo com a norma NR-13 Brasil, 2019, o relatório de inspeção de segurança deve ser elaborado com os seguintes itens listados abaixo e presente no subitem 13.4.6.16:

- a) Dados constantes na placa de identificação da caldeira;
- b) Categoria da caldeira;
- c) O tipo da caldeira;
- d) Tipo de inspeção executada;
- e) Data de início e término da inspeção;
- f) Descrição das inspeções, exames e testes executados;
- g) Registro fotográficos do exame interno da caldeira;
- h) Resultado das inspeções e providências;
- i) Relação dos itens da NR, relativos a caldeiras, que não estão sendo atendidos;
- j) Recomendações e providências necessárias;
- k) Parecer conclusivo quanto à integridade da caldeira até a próxima inspeção;
- l) Data prevista para a nova inspeção de segurança da caldeira;
- m) Nome legível, assinatura e número do registro no conselho profissional do PH e nome legível e assinatura dos técnicos que participaram da inspeção.

Depois de analisado e checado que não há nenhuma anormalidade encontrada entre os itens citados acima, o relatório de inspeção deve ser arquivado. Caso os resultados apresentam alteração dos dados presentes nos relatórios, deverão ser feitos os ajustes na caldeira para que o equipamento entre em funcionamento, logo em seguida, atualizar as informações na placa de identificação.

3 METODOLOGIA

Após o recolhimento dos dados e da leitura da NR-13, foi realizado uma análise na fabricação e ativação de caldeiras flamotubulares, observando em tópicos as adequações que a caldeira necessitou para seu funcionamento como inspeções de segurança iniciais e teste hidrostático e em seguida foi realizado uma análise de falhas que a caldeira poderia apresentar no decorrer da fabricação e corrigir conforme apresenta na norma regulamentadora de caldeiras e vasos de pressão e assim finalizar o projeto de pesquisa apresentado como objetivo.

3.1. Inicialização do processo de fabricação

Para uma análise de fabricação de uma caldeira, deve-se saber qual é a capacidade de geração de vapor que ela irá trabalhar, segundo a descrição da bibliografia no item 2.1.1 as caldeiras flamotubulares são de construção simples e a produção de vapor podem variar de 6 bar até a 20 bar de pressão de trabalho, podem ser de categoria A ou B. As caldeiras que são fabricadas na MML Caldeiras variam de 50 Kgv/h a 8.000 Kgv/h e trabalham entre 6 bar a 20 bar de pressão.

Logo após se saber a sua capacidade de produção, é criada uma ordem de serviço onde apresenta as informações e o croqui de construção da caldeira.

Figura 04: Ordem de Serviço

ORDEM DE SERVIÇO

ORDEM DE SERVIÇO: 905
 CLIENTE: PROD. ALIMENTÍCIOS SANTOS E FONSECA LTDA
 EQUIPAMENTO: CALDEIRA

MODELO: POWER WOOD CAPAC.: 500 KGVH
 PMTA.: 7 BAR COMB.: LENHA

CORPO DA CALDEIRA

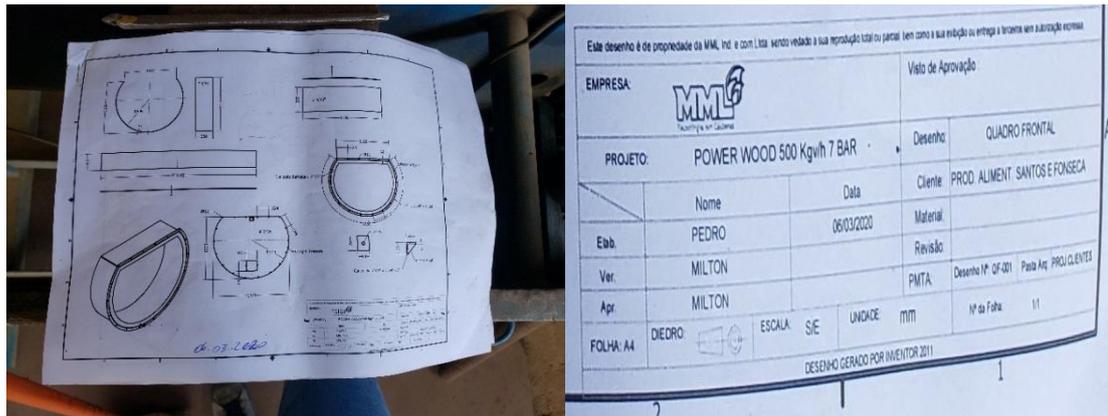
SERVIÇO EXECUTADO	DATA INICIO	HORA INICIO	DATA TERMINO	HORA TERMINO	ASSINATURA
PREPARAÇÃO DA FERRAMENTA					
CILINDRO DE COSTADO (200mm)	10/02/2020	15:00	10/02/2020	16:15	José Paulo
Marcação da ferralha (265mm)	10/02/2020	16:20	10/02/2020	17:50	José Paulo
Corte da ferralha (265mm)	11/02/2020	7:00	11/02/2020	8:45	José Paulo
SOLDAGEM DA FERRALHA (265mm)	11/02/2020	8:15	11/02/2020	8:55	José Paulo
SOLDAGEM DA FERRALHA (265mm)					
SOLDAGEM (250mm x 200mm) COSTADO	11/02/2020	7:00	11/02/2020	10:40	José Paulo
CORTE E CHANFRO DO CILINDRO (265mm)	11/02/2020	8:38	11/02/2020	9:18	José Paulo
FECHAMENTO DO CILINDRO (265mm)	11/02/2020	9:30	11/02/2020	9:35	José Paulo
FECHAMENTO DO CILINDRO (265mm)					
CHANFRO DO CILINDRO (265mm)	11/02/2020	9:40	11/02/2020	10:30	José Paulo
SOLDAGEM (250mm x 200mm) COSTADO	11/02/2020	12:25			
CORTE DOS PES					

Fonte: O autor.

A figura 04 apresenta os serviços executados na caldeira e o tempo de construção de cada peça. Nessa imagem também apresenta a informação de capacidade de produção de vapor, pressão de trabalho e o combustível que será utilizado em seu funcionamento.

Na ordem de serviço apresenta o croqui do projeto de construção, seguindo as medidas indicadas para a fabricação do equipamento escolhido.

Figura 05: Croqui da ordem de serviço



Fonte: O autor.

A figura 05, apresenta o croqui do projeto de fabricação com as medidas de uma das partes do equipamento. Na direita, tem as informações da caldeira que estava em fabricação.

Com a figura 05, pode-se concluir que se trata de uma caldeira horizontal com capacidade de produção de vapor de 500Kg/h com pressão de trabalho com 7 bar. Sabendo das informações de pressão de trabalho e de capacidade de produção de vapor, se inicializa a fabricação dos componentes da caldeira, pelo corte de chapas e tubos.

A inicialização do processo de montagem da caldeira foi feita pelos cortes da chapa do costado, fornalha, espelhos e dos tubos de passagens de gases combustos.

Figura 06: Tartaruga de corte da chapa do costado



Fonte: O autor.

A figura 06, mostra o equipamento utilizado para o corte da chapa do costado e fôrnalha e a realização do chanfro para o fechamento do cilindro. Após o processo de corte das chapas,   feita a calandragem do costado e da fôrnalha.

Figura 07: Processo de calandragem da chapa



Fonte: O autor.

Na figura 07, pode-se observar o processo de calandragem do costado, onde uma chapa passa em um rolo que a comprime e cria a forma cilíndrica do corpo da caldeira. Nesse mesmo processo   feito a soldagem do cilindro ainda na calandra onde   mais simples de trabalhar e realizar o seu fechamento.

Logo que foi feito a calandragem da fôrnalha e do costado, foi iniciado o corte dos espelhos onde foram realizados furos que fixam os tubos e fôrnalha da caldeira.

Após todos os cortes dos componentes da caldeira e da calandragem se inicia a soldagem dessas peças para a montagem do corpo da caldeira onde costado, fornalha e espelhos são instalados. A figura 08 mostra a instalação e posicionamento da fornalha no espelho.

Figura 08: Instalação da fornalha e espelho



Fonte: O autor.

Na figura 08, pode-se perceber como foi feita a instalação da fornalha no espelho do costado, onde é utilizado equipamentos e colaboradores para auxiliar a instalação. Após a correto posicionamento da fornalha, é realizada a soldagem de vedação, instalação dos pés da caldeira e instalação da grelha como mostra a figura 09.

Figura 09: soldagens das peças instaladas



Fonte: O autor.

Após a realização da soldagem de vedação, é realizada a instalação dos tubos de gases combustos no interior da caldeira.

Figura 10: instalação dos tubos



Fonte: O autor.

A figura 10, mostra o posicionamento dos tubos no espelho e em seguida a realização do mandrilamento; nota-se que os tubos que estão em uma cor mais escura são os tubos que foram mandrilados até o momento da foto. Após o processo de mandrilamento dos tubos, finaliza a parte de vedação para o teste hidrostático. A figura 11 mostra a caldeira pronta depois do mandrilamento dos tubos, já com a instalação do chaminé e registro para o teste hidrostático, mas sem a presença da lã térmica e revestimento com chapas de aço para acabamento.

Figura 11: Caldeira após a fabricação



Fonte: O autor.

A figura 11, mostra também a inicialização do teste hidrostático, apresentando os posicionamentos exatos dos canos de passagem de água, janela de visualização e os relógios de pressão.

3.2. Execução do Teste Hidrostático

Após a realização da solda dos componentes e dos mandrilamentos dos tubos onde se passa os gases combustos, a caldeira passa por um teste onde se verifica a capacidade de resistência do corpo com a pressão aplicada e com a possibilidade de vazamentos presentes no corpo da caldeira. Como explicado no item 2.2.4. os testes hidrostáticos são realizados para detectar possíveis falhas de vazamentos ou rupturas em uma caldeira, o teste deve ser realizado com uma pressão de 50% acima da pressão máxima de trabalho admissível da caldeira.

A realização do teste hidrostático foi feita na mesma caldeira citada no item 3.1, uma caldeira flamotubular horizontal com uma PMTA de 7 bar. Segue abaixo a realização da leitura do relógio de pressão em bar do teste hidrostático.

Figura 12: Teste hidrostático da caldeira flamotubular



Fonte: O autor.

Na figura 12, pode-se perceber que o teste hidrostático foi realizado próximo dos 13 bar de pressão, de acordo com a NR-13 o teste hidrostático deve ser feito 50% acima do PMTA da caldeira, que no caso da caldeira apresentada é de 7 bar onde 50% acima é 11 bar de pressão.

Com isso pode-se concluir que o teste hidrostático foi realizado com uma pressão superior à recomendada pela NR-13. Segundo a norma, os testes hidrostáticos apresentam desvantagens em sua realização, como apresentado no item 2.2.4, que é possibilidade de um crescimento crítico de descontinuidade e a possibilidade da perda do equipamento. Mas como o equipamento estava em fabricação, a orientação foi dada para que a pressão do teste hidrostático baixasse para 11 bar, com isso os seus componentes não foram danificados e assim possibilitando visualizar os seus pontos de vazamentos como apresentado na figura 13.

Figura 13: Vazamentos presentes no tubo



Fonte: O autor.

Após a visualização do vazamento, a manutenção realizada foi de trabalho simples onde é feito um novo mandrilamento nos tubos que apresentam os vazamentos. Em seguida é realizado um novo teste hidrostático com pressão de 11 bar, onde não apresentando vazamentos na caldeira, é finalizado o teste e é iniciada a parte de acabamentos com a instalação da lã térmica e a chapa de aço revestindo a lã e posteriormente a sua inicialização de teste e regulagem das válvulas de segurança.

3.3. Inicialização da Caldeira

Com o término do teste hidrostático, é feita a parte de instalação dos componentes restantes da caldeira, como, a tampa da fornalha, tampa do quadro traseiro e frontal e pintura padrão da empresa. Em seguida é realizado o primeiro start da caldeira flamotubular. Para que seja feito esse start, a caldeira deve apresentar a parte elétrica do equipamento, onde é realizado por um profissional habilitado a tal função. É instalado as válvulas de segurança onde apresenta a função de não permitir que a pressão de trabalho da caldeira exceda ao limite do equipamento. Em seguida foi iniciado o start da caldeira para apresentar as suas condições de trabalho e regular as válvulas de segurança a partir do acionamento delas assim que a pressão excede o limite da PMTA. Como apresentado na figura 14.

Figura 14: Acionamento da válvula de segurança



Fonte: O autor.

A caldeira apresentada acima é uma caldeira flamotubular vertical com capacidade de produção de vapor de 100 Kgv/h e com pressão de trabalho de 6 bar. As duas válvulas presentes na caldeira em questão são reguladas com as seguintes condições:

A válvula que deve ser acionada por último, caso a primeira falhe, é regulada primeiro com uma pressão limite de 6,5 bar.

Em seguida é realizado a regulagem da segunda válvula com pressão de acionamento de 6 bar.

Logo após a regulagem das válvulas, é verificado a integridade da caldeira, caso ela apresente alguma falha em sua ativação. Logo após a realização desses testes, a caldeira é desligada e o fechamento do processo de fabricação é concluído.

Após o processo de fabricação, a caldeira é entregue ao cliente, seguindo a descrição da NR-13 com o laudo do teste hidrostático assinado pelo PH e apresentando informações sobre a caldeira como listado no item 2.2.6. em sua placa de identificação.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

De acordo com a análise da NR-13 no decorrer do trabalho, é possível dizer que os resultados foram alcançados, onde o objetivo de análise de fabricação e ativação de caldeiras flamotubulares na empresa MML Caldeiras foi conclusivo.

Com a realização do teste hidrostático foi identificado que a pressão de teste da cadeira foi realizada com pressão acima da citada pela norma regulamentadora devendo ser realizada com 50% de pressão acima da PMTA. Assim que identificado, a pressão foi reduzida para a pressão de teste normal recomendada pela NR-13 e não gerando danos graves a estrutura do equipamento.

Outro ponto é que o teste hidrostático apresentou vazamentos nos tubos de passagem de gases combustos, caso não identificado poderiam comprometer o equipamento e gerar falhas maiores. Pode-se concluir que o teste hidrostático é de suma importância na fabricação dos equipamentos para comprovar a integridade física e permitir que o mesmo entre em operação com segurança.

Com a análise da fabricação de caldeiras foi possível identificar erros de não cumprimento da norma, erros que poderiam comprometer o equipamento caso não fosse realizado a correção, podendo prejudicar a sua estrutura e causar transtornos.

A realização do primeiro start da cadeira ainda em fase de fabricação como regulamentado pela norma é de suma importância, pois comprova que a caldeira apresenta condições satisfatórias para a operação na indústria. O primeiro start apresenta que a caldeira está apta a operação e assim que finalizado é assinado pelo PH e instalado a placa de identificação com as informações dos testes.

5 CONCLUSÃO

Conclui-se que o presente trabalho apresentou resultados satisfatórios com a normatização das caldeiras fabricadas na empresa MML Caldeiras, apresentando um estudo conclusivo e resolvido de acordo com o objetivo principal, analisando a sua fabricação e ativação conforme as exigências pertinentes na NR-13.

O entendimento da fabricação da caldeira é de fato relevante para o entendimento da norma, já que com a fabricação tenha-se a noção de onde cada componente está localizado, qual a função e o que pode ser feito para que a segurança do trabalhador e da própria integridade física da caldeira não seja expostos a falhas que podem danificar toda a produção ou até mesmo ocorrer danos mais graves.

Para a fabricação e inicialização de caldeiras flamotubular, o conhecimento da norma NR-13 é fundamental. Com ela pode-se inspecionar, adequar e garantir ao consumidor final a segurança de possuir uma caldeira flamotubular, seja ela com pressão de trabalho de 6 bar ou até mesmo com pressões mais elevadas podendo chegar aos 20 bar de pressão.

Além de compreender a NR-13, o presente trabalho auxiliou na execução da norma no local de fabricação das caldeiras, agregando o valor de conhecimento para a indústria em questão, que no caso é a MML Caldeiras, aumentando o seu conhecimento sobre a norma em relação às caldeiras fabricadas na empresa, assim garantindo uma maior segurança e qualidade em seus produtos.

REFERÊNCIAS

- ALTAFINI, Carlos Roberto. **Apostila sobre caldeiras**. Disponível em: <https://fluidcontrols.com.br/wp-content/uploads/2019/05/2-Apostilas-sobre-Caldeiras-Prof%C2%BA-Carlos-Alberto-Altafini.pdf>. Acesso em: 06 mar. 2020.
- BIZZO, Waldir A. EM 722 - **geração, distribuição e utilização de vapor**. Ca 4. UNICAMP, 2001. Disponível em: <http://www.fem.unicamp.br/~em672/GERVAP4.pdf>. Acesso em: 02 jun. 2020.
- BOTELHO, Manoel Henrique Campos; BIFANO, Hercules Marcelo. **Operação de caldeiras: Gerenciamento, controle e manutenção**. São Paulo: Edgar Blucher, 2011. 208p.
- BRASIL. Portaria N.º 915, 2019.31p. **NR-13 Caldeiras, Vasos de Pressão, Tubulações e Tanques Metálicos de Armazenamento**. Disponível em: <http://enit.trabalho.gov.br/portal/index.php/seguranca-e-saude-no-trabalho/sst-menu/sst-normatizacao/sst-nr-portugues?view=default>. Acesso em: 05 mar. 2020.
- CABRAL, Marlon Brando da Silva. **Inspeção de Vasos de Pressão: Reativação de Uma Caldeira Tipo B**. 2015. 31f. monografia (Graduação de Engenharia Mecânica) – UniRv – Universidade de Rio Verde, 2015.
- LEITE, Nilson R.; MILITÃO, Renato de A. **Tipos e aplicações de caldeiras**. Fabricação e Montagem de Caldeiras e Trocadores de Calor. Escola Politécnica – Deptº de Engenharia Mecânica EPUSP-PROMIMP, 2008. Disponível em: https://lcsimej.files.wordpress.com/2012/09/caldeiras_prominp.pdf. Acesso em: 03 jun. 2020.
- MARTINELLI JR, Luiz C. **Geradores de vapor**. UNIJU: Campus Panambi, 2002. Disponível em: <http://www.saudeetrabalho.com.br/download/gera-vapor.pdf>. Acesso 04 jun. 2020.
- MMLCALDEIRAS. **Produtos: Power Wood**. Lambari 2014. Disponível em: www.mmlcaldeiras.com.br/produtos_power_wood.asp. Acesso em: 05 mar. 2020.
- PERA, Hildo. **Geradores de vapor: um compendio sobre a conversão de energia com vistas a preservação da ecologia**. São Paulo: Editora Fama, 1990.
- SILVA, Daniel Fernando. **Operação de caldeiras: gerenciamento, controle e manutenção**. 2012. 33f. monografia (Graduação de Engenharia Mecânica) – fesurv – universidade de Rio Verde, Rio Verde, 2012.